



ALUMIINISEN I-PROFIILIPALKKIN MITOITUS- OHJELMA

Olli Ahonen
0901462

Opinnäytetyö
29.4.2013
Alumiiniprofiilin mitoitus
Talonrakennustekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

OLLI AHONEN

ALUMIINISEN I-PROFIILIPALKIN EXCEL-POHJAINEN MITOITUSOHJELMA

Opinnäytetyö 18 sivua, liitteet: Excel-pohjainen mitoitusohjelma
Huhtikuu 2013

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa alumiiniselle I-profiilipalkille Excel-pohjainen mitoitusohjelma. Tätä ohjelmaa on tarkoitus myöhemmin käyttää Tampereen ammattikorkeakoulussa alumiinisuunnittelun opetuksessa.

Tässä opinnäytetyön tekstiosassa käsitellään ohjelman tekoon liittyvät suunnitteluperusteet, tärkeimmät mitoituskaavat, ohjelman tuottamisessa ilmenneet ongelmat, ohjelman rajoitukset ja niiden syyt. Lopuksi vielä selvennetään, kuinka ohjelmaa käytetään.

Tarkoitus on, että tämän opinnäytetyön luettuaan, on lukijalla käsitys siitä miten ja mihin mitoitusohjelmaa käytetään sekä ymmärtää ohjelman käytön rajoitukset.

Asiasanat: alumiini, I-profiili, Excel-pohjainen, mitoitusohjelma

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering
Option of Structural Engineering

OLLI AHONEN

EXCEL BASED DESIGN PROGRAM FOR ALUMINUM I-PROFILE BEAM

Bachelor's thesis 18 pages, appendices: Excel-based structural design program
April 2013

Purpose of this thesis was to produce an excel-based design program for aluminum I-profile beam. This program is intended to be used later in Tampere University of Applied Sciences aluminum design education.

In this thesis deals with the program text of the submission of the design principles of the production problems encountered in the program, the program's limitations and their causes, as well as to clarify how to use the program.

The purpose is that when this thesis is read, the reader has an understanding of where and how the program is used as well as to understand the limitations of the use of the program.

Key words: aluminum, I-profiled, Excel-based, structural design program

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	5
1.1	Työn tausta	5
1.2	Työn tavoitteet	5
1.3	Työn rajaukset.....	5
2	SUUNNITTELUPERUSTEET.....	6
2.1	Eurokoodi 9.....	6
2.2	Mitoitus	6
2.2.1	Taipuma.....	7
2.2.2	Taivutus.....	8
2.2.3	Leikkaus	8
2.2.4	Taivutus ja leikkaus	9
3	LASKENTAOHJELMAN TUOTTAMINEN	10
3.1	Ohjelman teon aloittaminen	10
3.2	Ohjelman rajoitukset	10
3.3	Ohjelman teossa vastaan tulleet ongelmat	10
5	OHJELMAN KÄYTTÖ.....	12
5.1	Esimerkkitapaus	12
5.1	Profiilin määrittäminen	12
5.2	Kuormien määrittäminen	13
5.3	Tulosten tarkastelu	14
6	LÄHTEET	17
7	LIITTEET	18
	Liite 1. Ahonen, O. Alumiinisen I-profiili palkin mitoitusohjelma, 2013	18

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tampereen ammattikorkeakoulun alumiinikurssin opettaja halusi opetuksensa tueksi ohjelman, jolla pystyisi mitoittamaan alumiini profiileja, sekä laskemaan niiden oman painon. Tämä siitä syystä, että vastaavaa ohjelmaa ei vielä ole.

1.2 Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa opetuskäyttöön taulukkolaskentapohjainen mitoitusohjelma alumiinisille I-profiileille.

1.3 Työn rajaukset

Alumiinista voidaan tehdä lähes rajattomasti erilaisia profiileja. Kaikkien mahdollisten profiilien sisällyttäminen yhteen laskentaohjelmaan olisi erittäin hankalaa. Koska opinnäytetyön työmäärä on rajattu, on myös tämä työ rajattu, käsittelemään vain alumiinisia I-profiileja. Tällä ohjelmalla ei myöskään pysty mitoittamaan muuta kuin palkkeja.

2 SUUNNITTELUPERUSTEET

2.1 Eurokoodi 9

Tämän opinnäytetyön tuloksena tuotetaan alumiinisen I-profiilin mitoitusohjelma. Tämän ohjelman sisältämät kaavat ja tulokset perustuvat eurokoodi 9:ään. Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja. Eurokoodi 9 käsittelee alumiinirakenteiden mitoittamista.

Eurokoodit:

- Eurokoodi 1: Kuormat
- Eurokoodi 2: Betonirakenteet
- Eurokoodi 3: Teräsrakenteet
- Eurokoodi 4: Liittorakenteet
- Eurokoodi 5: Puurakenteet
- Eurokoodi 6: Muurattujen rakenteiden suunnittelu
- Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu
- Eurokoodi 8: Maanjäristysmitoitus
- **Eurokoodi 9: Alumiinirakenteet**

(Eurokoodi Help Desk. 2013.)

Eurokoodi 9 koostuu viidestä eri osasta. Nämä osat ovat:

- Osa 1-1: Yleiset säännöt
- Osa 1-2: Rakenteiden palomitoitus
- Osa 1-3: Väsymiselle alttiit rakenteet
- Osa 1-4: Kylmämuovattut kantavat muotolevyt
- Osa 1-5: Kuorirakenteet

(Eurokoodi 9. 2013)

2.2 Mitoitus

Kun mitoitus aloitetaan, ensimmäisenä määritetään profiilin muodosta riippuvat geometria arvot ja materiaalista riippuvat materiaaliarvot.

2.2.1 Taipuma

Ohjelmassa on mahdollista määrittää erilaisia kuormia. Kuormia voi olla pistekuormana tai tasaisena kuormana. Se miten taipuma lasketaan, muuttuu sen mukaan, millainen kuorma on kyseessä. Jos kyseessä on pistekuorma, tulee taipuma laskea kaavalla 1.

$$d = \frac{G \times a^2 \times b^2}{3 \times E \times I \times L} \quad (1)$$

, jossa

G = kuorma

a = kuorman etäisyys tuesta A

b = kuorman etäisyys tuesta B

E = materiaalin kimmomoduuli

I = poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

L = profiilin pituus

d = taipuma

Jos kyseessä on tasainen kuorma, tulee taipuma laskea kaavalla 2.

$$d = \frac{5 \times g \times L^4}{384 \times E \times I} \quad (2)$$

, jossa

g = kuorma

L = profiilin pituus

E = materiaalin kimmomoduuli

I = poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

Jokaiselle kuormalle lasketaan oma taipumansa. Kokonaistaipuma on näiden taipumien summa.

2.2.2 Taivutus

Taivutuskestävyyden laskennassa verrataan profiiliin kohdistuvaa taivutusmomenttia profiilin taivutusmomentin kestävyyskykyyn. Taivutus momentin kestävyys lasketaan kaavalla 3.

$$M_{u,Rd} = W_{net} \times \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (3)$$

, jossa

W_{net} = poikkileikkauksen taivutusvastus

f_u = materiaalin murtolujuus

γ_{M2} = materiaalin osavarmuusluku

2.2.3 Leikkaus

Leikkaus kestävyden käyttöastetta laskettaessa, verrataan profiilin leikkauskestävyyttä ja olemassa olevia leikkausvoimia toisiinsa. Profiilin leikkauskestävyyden voi laskea kaavalla 4.

$$V_{Rd} = A_V \times \frac{f_0}{\sqrt{3} \times \gamma_{M2}} \quad (4)$$

, jossa

V_{Rd} = Leikkauskestävyys

A_V = Profiilin leikkausta vastaan ottava poikkileikkausala

f_0 = materiaalin 0,2 %:n venymäraja

γ_{M2} = materiaalin osavarmuusluku

2.2.4 Taivutus ja leikkaus

Kun profiiliin kohdistuu taivutusjännitystä ja leikkausrasitusta, täytyy mitoituksessa tarkastaa niiden yhteisvaikutus. Rasitusten yhteisvaikutus otetaan huomioon pienentämällä taivutuskestävyyttä. Se paljonko taivutusjännitystä pienennetään, on riippuvainen siitä, paljonko profiiliin kohdistuu leikkausrasitusta.

Esimerkiksi jos kyseessä on poikkileikkausluokka 3:n I-profiili, lasketaan sen taivutus- ja leikkausrasituksen yhteisvaikutuksen takia profiilille uusi taivutuskestävyys kaavalla 5.

$$M_{v,Rd} = t_f \times b_f \times (h - t_f) \times \frac{f_0}{\gamma_{M1}} + \frac{t_w \times h_w^2}{6} \times \frac{f_{0,v}}{\gamma_{M1}} \quad (5)$$

, jossa

$M_{v,Rd}$ = Pienennetty taivutuskestävyys

t_f = laipan paksuus

t_w = uuman paksuus

b_f = laipan leveys

h = profiilin korkeus

h_w = laippojen väli

f_0 = materiaalin 0,2 %:n venymäraja

$f_{0,v}$ = pienennetty materiaalin lujuus

γ_{m1} = Materiaalin osavarmuusluku

3 LASKENTAOHJELMAN TUOTTAMINEN

3.1 Ohjelman teon aloittaminen

Ennen ohjelman teon aloittamista, piti päättää, millaiset rajat sille asetetaan. Eli mitä kaikkea ohjelmalla pystyisi tekemään. Nämä rajat määräytyivät opinnäytetyöhön varatun työajan mukaan. Rajat päätettiin siten, että opinnäytetyöhön varattu aika riittäisi ohjelman tuottamiseen.

Kun ohjelman teko aloitettiin, oli yksi ensimmäisistä kysymyksistä se, minkälainen ulkoasu ohjelmalle pyritään muodostamaan. Tässä päädyttiin siihen, että profiilin tiedot syötetään ensimmäiselle taulukkolaskennan välilehdelle ja tulokset tulevat automaattisesti tälle samalle välilehdelle. Laskenta ja kaikki muu toiminta tapahtuu muilla välilehdillä, jotka ovat lukittuja muokkaukselta.

3.2 Ohjelman rajoitukset

Rajoitukset muodostuivat sen mukaan, kuinka paljon aikaa tähän opinnäytetyöhön oli tarkoitus varata aikaa. Näitä yhdessä opinnäytetyön valvojan kanssa päätettyjä rajoituksia olivat seuraavat seikat:

- Ohjelma laskee vain I-profiileja..
- Ohjelma laskee vain palkkeja, ei pilareita
- Ohjelma laskee tuloksen vain, jos profiilin poikkileikkausluokka on joko 1, 2 tai 3.
- Palomitoitusta ei oteta huomioon.
- Suurin mahdollinen profiili-koko on 300 mm * 300 mm.

3.3 Ohjelman teossa vastaan tulleet ongelmat

Ohjelman tekijä ja opinnäytetyön valvoja olivat yhtä mieltä siitä, että profiilikoon pitää olla vapaasti valittavissa, sillä onhan kyseessä alumiininen profiili, joka valmistetaan pursottamalla, eikä sen muodossa ole rajoituksia valmistustekniikan kannalta. Ongelmaksi muodostui se, kuinka profiilin mittojen valinnan saisi täysin vapaaksi ja miten

sen jälkeen ohjelma laskee automaattisesti profiilin hitausmomentin, hitaussäteen sekä taivutusvastuksen. Ohjelmana oli kaavan monimutkaisuus. Kun taulukkolaskentaan pyrkii muodostamaan vain yhden kaavan jokaiselle arvolle, jolla ohjelma laskee nämä arvot, tulee kaavasta erittäin monimuotoinen. Ratkaisu oli profiilin jakaminen suorakaitteen ja ympyrän muotoisiin osiin, niiden arvojen laskeminen, ja sitten näiden summaaminen yhteen.

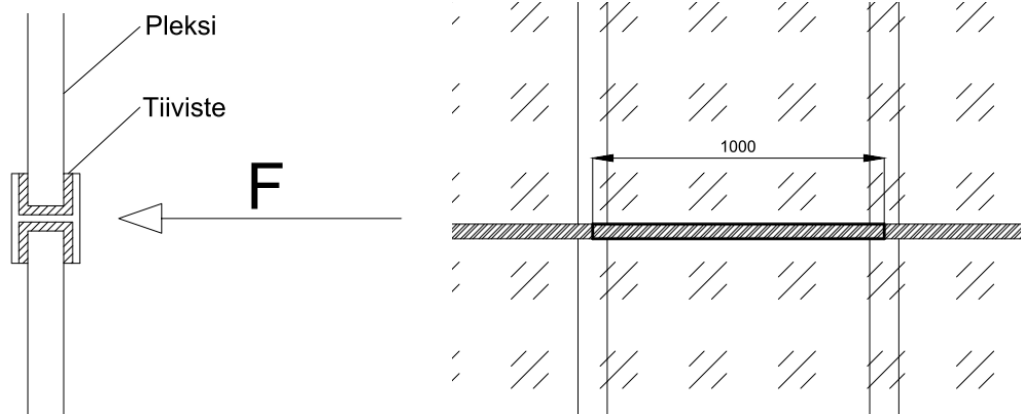
Tämän opinnäytetyön valvoja halusi ohjelmaan profiilin kuvaajan, joka muuttuu aktiivisesti sen mukaan, mitä profiilin mitoiksi syöttää. Tämä ongelma ratkaistiin siten, että lisättiin ohjelman etusivulle viivakuvaaja, jonka nurkka pisteet lasketaan taulukkolaskennan toisella välilehdellä. Tämä kuvaaja ei ota huomioon profiilin kulman pyöristys-sädettä (r), sillä sen aikaan saaminen olisi ollut erittäin paljon hankalampaa.

5 OHJELMAN KÄYTTÖ

5.1 Esimerkkitapaus

Alumiinista I-profiilia voidaan käyttää esimerkiksi erilaisten levyjen yhteen liittämiseksi. Alumiinin etuja ovat hyvä korroosiokestävyys ja täten se onkin hyvä materiaali rakennusten ja rakennelmien julkisivuihin ja ulkopintoihin, sekä pintoihin joihin kohdistuu kova korroosiota aiheuttava kuormitus.

Tässä esimerkissä käydään läpi kasvihuoneen seinän levyjen seinään kiinnittävän alumiinisen I-profiilin (Kuva 1) mitoittamisen tämän opinnäytetyön I-profiilin mitoitusohjelmalla.

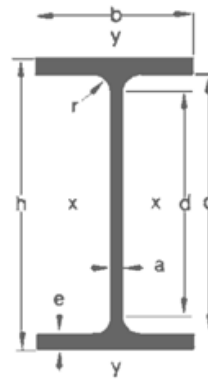


KUVA 1. Kasvihuoneen seinän levyjen kiinnitys

5.1 Profiilin määrittäminen

Ensimmäisellä välilehdellä tapahtuu sekä profiilin mittojen määrittäminen, että kuormien määrittäminen (Kuva 2).

Geometria		OK
Profiilin tiedot		
Pituus (l) [m]		1
Korkeus (h) [mm]		38
Leveys (b) [mm]		50
Uuman paksuus (a) [mm]		4
Laipan paksuus (e) [mm]		4
Kulman pyöristyssäde (r) [mm]		5
Laippojen väli (c) [mm]		30
Materiaalin tiedot		
Materiaalin myötöraja (f ₀)		260
Materiaalin murtoraja (f _u)		310
Kimmomoduli (E)		69000




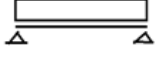


KUVA 2. Lähtötietojen antaminen, Profiili

Esimerkissä on 1 m pituinen, 28 mm korkea ja 50 mm leveä alumiininen I-profiili. Nämä tiedot syötetään kuvan 2. mukaisesti taulukkoon, kuten myös laipan ja uuman paksuudet sekä sisäkulman pyöristyssäde.

Kun profiilin mitat ovat määritetty, syötetään taulukkoon käytettävän alumiiniseoksen materiaalitiedoista materiaalin murtoraja sekä venymän 0,2 %:n venymäraja.

5.2 Kuormien määrittäminen

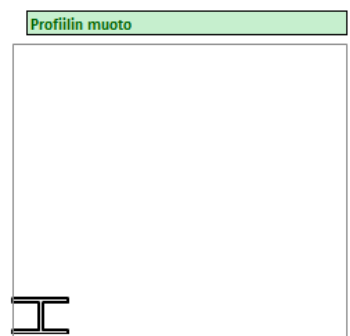
Seuraavaksi pitää ohjelmaan syöttää profiiliin kohdistuvat kuormat. Kuormat syötetään taulukkoon (Kuva 3.) seuraavalla tavalla. Taulukon vasempaan palstaan syötetään profiiliin kohdistuvat pysyvät kuormat. Profiilin omanpainon ohjelma ottaa huomioon automaattisesti. Vaihtoehtoja on kaksi. Nämä ovat pistekuorma profiilin keskelle ja jatkuvakuorma koko profiilin pituudelle. Samat vaihtoehdot löytyvät taulukon oikeasta palstaan, johon syötetään profiiliin kohdistuvat muuttuvat kuormat. Tässä esimerkki tapauksessa on syötetty muuttuvien kuormien palstaan jatkuvaksi kuormaksi 2,5 kN/m. Tämä kuvaa profiilille kertyvää tuulikuormaa. Ohjelman käyttäjän on laskettava itse se, kuinka paljon kuormaa kertyy profiilille ja pääteltävä se, että onko kuorma pysyvä vai muuttuva.

Kuormat	
<p>Pysyvätkuormat</p>  <p>F = <input type="text" value=""/> kN</p>  <p>F = <input type="text" value="0"/> kN/m</p>	<p>Muuttuvatkuormat</p>  <p>F = <input type="text" value=""/> kN</p>  <p>F = <input type="text" value="2,5"/> kN/m</p>

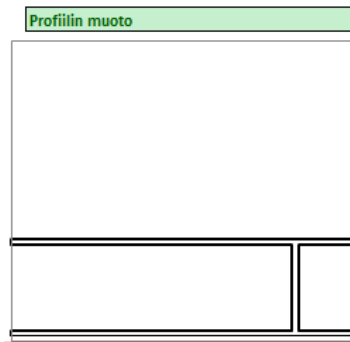
KUVA 3. Lähtötietojen antaminen, Kuormat

5.3 Tulosten tarkastelu

Ohjelman käyttö on suunniteltu siten, että käyttäjällä tulee olla tekninen ymmärrys siitä mitä ohjelma laskee. Käyttäjän pitää ymmärtää kuinka tulokset muodostuvat, sekä hänellä pitää olla kyky huomata, jos ohjelma antaa kyseenalaisen tuloksen. Tämä kyseenalainen tulos voi johtua esim. profiilin mittojen syöttämisessä tapahtuneesta näppäilyvirheestä. Tätä radikaalia virhettä varten on ohjelmaan lisätty lähtötietojen syöttämistä varten tehdyn taulukon alapuolelle kuvaaja, joka piirtää profiilin muodon (Kuva 4). Tästä näkeekin heti, jos profiilin muoto ei ole kuvitellun muotoinen (Kuva 5). Tämä kuvaaja ei ota huomioon profiilin sisäkulman pyöristyssädettä. Koska se otetaan kuitenkin laskennassa huomioon, on käyttäjän tarkastettava, että on syöttänyt tämän tiedon oikein.



KUVA 4. Profiilin muodon kuvaaja



KUVA 5. Näppäilyvirheen tulos

Lähtötietojen syöttämistä varten tehdyn taulukon alle on tehty taulukko laskennan tuloksista (Kuva 6).

Tulokset					
Taipuma =	3,378001824 mm	Käyttöaste =	84,45005 %	OK	(Käyttöasteen kriteeri = L/250)
Taivutuskestävyys =		Käyttöaste =	32,35208 %	OK	
Leikkauskestävyys =		Käyttöaste =	8,657334 %	OK	
Taivutus ja leikkaus =		Käyttöaste =	63,62687 %	OK	
Omapaino =	0,01 kN/m	Profiilin paino =	0,014621 kN	=	1,46205 kg

KUVA 6. Tulokset

Ensimmäisenä taulukossa (kuva 5.) näkyy taipuma. Ohjelma laskee taipuman todellisen arvon sekä käyttöasteen prosentteina. Käyttöasteen kriteerinä on käytetty yleistä ehtoa L/250. Tapauksesta riippuen ei välttämättä 100 %:n ylitys ole merkitsevä, jos suurempi taipuma voidaan sallia.

Toinen taulukon kohdista on taivutuskestävyyden laskenta. Ohjelma laskee tähän taulukon kohtaan taivutuskestävyyden käyttöasteen. Itse laskenta on ohjelman seuraavilla välilehdillä ja etusivulle tulee vain laskennan lopullinen tulos. Samaa periaatetta on käytetty muissakin tulos taulukon kohdissa.

Kolmas taulukon kohdista on leikkauskestävyyden laskenta. Samoin kuin taivutuskestävyyden laskennassa, ohjelma laskee tähän leikkauskestävyyden käyttöasteen.

Neljäntenä taulukossa näkyy leikkausvoiman ja taivutuksen yhteisvaikutus. Tämä on luonnollisesti vaikuttavampi tekijä, kuin leikkausvoima tai taivutus yksinään. Taulukoon ohjelma laskee yhteisvaikutuksen käyttöasteen.

Viimeisenä taulukosta näkee omanpainon arvon (kN/m) sekä koko profiilin todellisen painon (kg).

Tuloksia tarkastellessa pitää muistaa ohjelman rajoitukset ja tulkita tulokset sen mukaan. Ohjelmaa voi toki käyttää soveltaen moneen eri tapaukseen, mutta silloin pitää muistaa, että tulokset eivät välttämättä aina ole tarkkoja vaan enemmänkin suuntaa antavia.

6 LÄHTEET

Müller, U. 2011, Introduction to Structural Aluminium Design. Scotland, UK: Whittles Publishing

Eurokoodi Help Desk. 2013. Luettu 29.4.2013
www.eurocodes.fi

Eurokoodi 9. 2013. Luettu 29.4.2013
www.eurokoodi9.fi

7 LIITTEET

Liite 1. Ahonen, O. Alumiinisen I-profilin palkin mitoitusohjelma, 2013